附 录

正文未报告部分

附录 1

用$p(x)$代表每个任务的价格，在完全竞争市场条件下，该价格定于其成本，那么同样用分段函数表示出$p(x)$：

$$p(x)=\begin{cases}\frac{1}{\gamma_m(x)}(\frac{R}{\alpha})^{\alpha}(\frac{P_m}{1-\alpha})^{1-\alpha} \text{ if } x\in[N-1,I]\\ \frac{1}{\gamma_L(x)}(\frac{R}{\alpha})^{\alpha}(\frac{W}{1-\alpha})^{1-\alpha} \text{ if } x\in[I,N]\end{cases}$$

那么，每个任务x对三种生产要素的需求可以表示为$k(x)$、$m(x)$、$l(x)$，相应的可以求出三种生产要素占总产出的份额：

对资本的需求：

$$k(x)=\begin{cases}\alpha\frac{Y}{R} \text{ if } x\in[N-1,I]\\ \alpha\frac{Y}{R} \text{ if } x\in[I,N]\end{cases}$$

资本所占份额为：

$$\frac{RK}{Y}=\alpha$$

对机器人的需求：

$$m(x)=\begin{cases}(1-\alpha)\frac{Y}{P_m} \text{ if } x\in[N-1,I]\\ 0 \text{ if } x\in[I,N]\end{cases}$$

机器人所占份额为：

$$\frac{P_mM}{Y}=(1-\alpha)(I-N+1)$$

对劳动力的需求：

$$l(x)=\begin{cases}0 \text{ if } x\in[N-1,I]\\ (1-\alpha)\frac{Y}{W} \text{ if } x\in[I,N]\end{cases}$$

劳动力收入份额：

$$\frac{WL}{Y}=(1-\alpha)(N-I)$$

根据 Dixit-Stiglitz 框架，可以得出

$$y(x)=\frac{Y}{p(x)}\Rightarrow p(x)=\frac{Y}{y(x)}\Rightarrow ln(p(x))=lnY-ln(y(x))$$

对上式两边同时积分，可得：

$$\int_{N-1}^{N}ln\,p\,(x)dx=lnY\int_{N-1}^{N}dx-\int_{N-1}^{N}ln\,y\,(x)dx=lnY-lnY=0$$

$$\int_{N-1}^{N} ln\, p\,(x)dx = 0$$

代入边际生产力的公式，可得：

$$\int_{N-1}^{I}(\alpha\, ln\, R - \alpha\, ln\, \alpha + (1-\alpha)\, ln\, P_m - (1-\alpha)\, ln(1-\alpha) - ln\, \gamma_m\,(x))dx$$
$$+\int_{I}^{N}(\alpha\, ln\, R - \alpha\, ln\, \alpha + (1-\alpha)\, ln\, W - (1-\alpha)\, ln(1-\alpha) - ln\, \gamma_l\,(x))dx = 0$$

带入三种要素份额，可得：

$$\int_{N-1}^{I}(\alpha\, ln\frac{\alpha Y}{K} - \alpha\, ln\, \alpha + (1-\alpha)\, ln\frac{(1-\alpha)(I-N+1)Y}{M} - (1-\alpha)\, ln(1-\alpha) - ln\, \gamma_m\,(x))dx$$
$$+\int_{I}^{N}(\alpha\, ln\frac{\alpha Y}{K} - \alpha\, ln\, \alpha + (1-\alpha)\, ln\frac{(1-\alpha)(N-I)Y}{L} - (1-\alpha)\, ln(1-\alpha) - ln\, \gamma_l\,(x))dx = 0$$

对上式进行化简：

$$\int_{N-1}^{I}(\alpha\, ln\frac{Y}{K} + (1-\alpha)\, ln\frac{(I-N+1)Y}{M} - ln\, \gamma_m\,(x))dx$$
$$+\int_{I}^{N}(\alpha\, ln\frac{Y}{K} + (1-\alpha)\, ln\frac{(N-I)Y}{L} - ln\, \gamma_l\,(x))dx = 0$$

$$\int_{N-1}^{I}(ln\, Y - \alpha\, ln\, K - (1-\alpha)\, ln\, M + (1-\alpha)\, ln(I-N+1) - ln\, \gamma_m\,(x))dx$$
$$+\int_{I}^{N}(ln\, Y - \alpha\, ln\, K - (1-\alpha)\, ln\, L + (1-\alpha)\, ln(N-I) - ln\, \gamma_l\,(x))dx = 0$$

$$ln\, Y = \alpha\, ln\, K + (1-\alpha)(I-N+1)\, ln\, M + (1-\alpha)(N-I)\, ln\, L$$
$$-(1-\alpha)(I-N+1)\, ln(I-N+1) - (1-\alpha)(N-I)\, ln(N-I)$$
$$+\int_{N-1}^{I}(ln\, \gamma_m\,(x))dx + \int_{I}^{N}(ln\, \gamma_L\,(x))dx$$

根据$ln\, Y$的表达式，可以得出整体的生产函数为：

$$Y = AK^{\alpha}(\frac{M}{I-N+1})^{(1-\alpha)(I-N+1)}(\frac{L}{N-I})^{(1-\alpha)(N-I)}$$

其中，$A = exp(\int_{N-1}^{I}(ln\, \gamma_m\,(x))dx + \int_{I}^{N}(ln\, \gamma_L\,(x))dx)$

从上述推倒出的生产函数可以看出，机器人的使用量M增加，整体的经济总产出也会增加；而且因为模型中包含了机器人、资本以及劳动三种生产要素，机器人加入经济系统中也会对两者产生影响，进而对经济产出产生影响；同时，整体函数中的全要素生产率A的表达式中也包含了机器人的劳动生产率，机器人使用对全要素生产率产生的影响也会反映到经济总产出上。

附录 2

因为 $c(x) = \begin{cases} \frac{1}{\gamma_m(x)}(\frac{R}{\alpha})^{\alpha}(\frac{P_m}{1-\alpha})^{1-\alpha} \text{ if } x \in [N-1, I] \\ \frac{1}{\gamma_L(x)}(\frac{R}{\alpha})^{\alpha}(\frac{W}{1-\alpha})^{1-\alpha} \text{ if } x \in [I, N] \end{cases}$，

所以很容易发现

$$I \propto prob(I+1-N) = prob(\max\left(0, \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_L}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}(1-\alpha)W - c_m\right))$$

上述公式表达的含义是如果能够满足机器的生产条件，即$c_m < \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_L}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}(1-\alpha)W$，那么就会选择机器生产，而这个条件被满足的概率越大，就会有越多的行业选择机器生产。很容易看出来，c_m越小，这个公式越容易满足。因此对上述求导可得$\partial I/\partial c_m < 0$。

附录 3

在附录 2 的基础上，可以得到$\partial I/\partial c_m < 0$。再讲这个结论代入到生产率的公式中，$A = exp(\int_{N-1}^{I}(ln\,\gamma_m(x))dx + \int_{I}^{N}(ln\,\gamma_L(x))dx)$，根据$\gamma_m > \gamma_L$的假设，那么很容易得到，$\partial A/\partial c_m < 0$。

附录 4

表 5 补充：按照行业的分组回归结果

Panel A 按照行业分类的回归结果 I (正文未报告部分)

	其他化学产品	橡胶和塑料制品（非汽车）	未分类的化学产品	玻璃、陶瓷、石材、矿产品（非汽车）	金属
类别	ln$y$	ln$y$	ln$y$	ln$y$	ln$y$
ln$robsu$	0.0056	0.0231*	0.0058	0.0336***	0.0485***
	(0.0061)	(0.0129)	(0.0104)	(0.0083)	(0.0081)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
个体固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
N	192	641	224	557	710
R^2	0.9997	0.9984	0.9993	0.9988	0.9986

Panel B 按照行业分类的回归结果 II(正文未报告部分)

	电气/电子	汽车业	未分类汽车相关业	其他交通工具	其他所有分支
类别	ln$y$	ln$y$	ln$y$	ln$y$	ln$y$
ln$robsu$	0.0204***	0.0399***	0.0104***	0.0193**	0.0375***
	(0.0070)	(0.0055)	(0.0028)	(0.0075)	(0.0098)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
个体固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
N	626	673	229	529	625
R2	0.9989	0.9988	0.9996	0.9992	0.9977

附录 5

中介效应的 Bootstrap 检验

	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>z	Normal [95%Conf.	based Interval]	Percentage
indirect_lnctfp	.04914	.0058	8.4700	0.0000	.0378	.0605	64.4881%

indirect_lnk	.01155	.0035	3.3000	0.0010	.0047	.0184	15.1574%
direct_effect	.01551	.0023	6.6000	0.0000	.0109	.0201	20.3543%

附录 6

熵匹配质量结果

变量	Unmatched Matched	Mean Treated	Mean Control	%bias	%reduct |bias|	t-test t	t-test p>|t|	V(T)/ V(C)
pop	U	35.881	29.798	6.4		1.92	0.055	0.19*
	M	35.881	36.482	-0.6	90.1	-0.34	0.731	1.60*
xr	U	45.697	280.93	-22.7		-6.34	0.000	0.01*
	M	45.697	46.311	-0.1	99.7	-0.08	0.938	0.40*
avh	U	1901.7	2050.7	-56.3		-16.38	0.000	1.35*
	M	1901.7	1901.7	-0.0	100.0	-0.00	1.000	2.18*
lnk	U	13.779	10.467	165.5		53.07	0.000	0.44*
	M	13.779	13.825	-2.3	98.6	-0.84	0.402	1.21*
lnl	U	2.0149	0.7211	79.7		24.94	0.000	0.37*
	M	2.0149	2.0345	-1.2	98.5	-0.43	0.669	0.78

注：该附录是期刊所发表论文的组成部分，同样视为作者公开发表的内容。如研究中使用该附录中的内容，请务必在研究成果上注明引文和下载附件出处。

引用示例：

参考文献引用范例：

[1] 朱军. 技术吸收、政府推动与中国全要素生产率提升[J].中国工业经济.2017,(1):5-24.

如果研究中使用了未在《中国工业经济》纸质版刊发、但在杂志网站上正式公开发表的数字内容（包括数据、程序、附录文件），请务必在研究成果正文中注明：

数据（及程序等附件）来自朱军（2017），参见在《中国工业经济》网站（http://www.ciejournal.org）附件下载。